

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 59 532.4

Anmeldetag: 30. November 2000

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH & Co OHG,
Regensburg/DE

Bezeichnung: Halbleiterchip für die Optoelektronik

Priorität: 16. November 2000 G 200 19 477.1

IPC: H 01 L und H 01 S

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Februar 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hiebinger

Beschreibung

Halbleiterchip für die Optoelektronik

- 5 Die Erfindung betrifft einen Halbleiterchip für die Optoelektronik mit einer aktiven Schicht, die eine Photonen emittierende Zone aufweist und die auf einer Befestigungsseite an einem Trägerkörper angebracht ist.
- 10 Derartige in Dünnschichttechnik hergestellte Halbleiterchips sind aus der EP 0 905 797 A2 bekannt. Zur Herstellung des bekannten Halbleiterchips wird üblicherweise eine aktive Schicht auf einem Substrat durch ein Epitaxieverfahren aufgebracht. Auf der Oberseite der aktiven Schicht wird daraufhin ein Trägerkörper befestigt und das Substrat entfernt. Vorteilhafterweise befindet sich zwischen dem Trägerkörper und der aktiven Schicht eine metallische Reflexionsschicht, so daß kein Licht vom Trägerkörper absorbiert wird. Die bekannten Halbleiterchips eignen sich insbesondere für Anwendungen, in denen eine
- 15 hohe optische Leistung erforderlich ist.
- 20

- Ein Nachteil der bekannten, in Dünnschichttechnik hergestellten Halbleiterchips ist, daß die zwischen Trägerkörper und der aktiven Schicht angeordnete metallische Reflexionsschicht bei
- 25 kurzen Wellenlängen im allgemeinen keine zufriedenstellende Reflektivität aufweisen. Insbesondere bei einer Wellenlänge von weniger als 600 nm wird Gold als metallische Reflexionsschicht immer ineffizienter, da die Reflektivität signifikant abnimmt. Bei Wellenlängen unterhalb von 600 nm können beispielsweise die Elemente Al und Ag verwendet werden, deren Reflektivität bei Wellenlängen kleiner 600 nm vergleichsweise konstant bleibt.
- 30

- Außerdem können große Flächen, wie die metallische Reflexionsschicht, nur schwer gebondet werden. Durch das Bonden und das Legieren der metallischen Kontaktschicht wird außerdem die
- 35

Qualität der metallischen Reflexionsschicht im allgemeinen beeinträchtigt.

Weiter ist aus der DE 198 07 758 A1 ein pyramidenstumpfförmiger Halbleiterchip bekannt, der eine aktive, Licht emittierende Zone zwischen einer oberen Fensterschicht und einer unteren Fensterschicht aufweist. Die obere Fensterschicht und die untere Fensterschicht bilden zusammen einen pyramidenstumpfförmigen Grundkörper. Die schräge Ausrichtung der Seitenwände der Fensterschichten bewirkt, daß das von der aktiven Zone ausgehende Licht an den Seitenflächen totalreflektiert wird und nahezu rechtwinklig auf die als Leuchtfläche dienende Basisfläche des pyramidenstumpfförmigen Grundkörpers auftrifft. Dadurch tritt ein Teil des von der aktiven Zone emittierten Lichts innerhalb des Austrittskegels des Halbleiterelements auf die Oberfläche. Unter Austrittskegel soll in diesem Zusammenhang der Kegel der Lichtstrahlen verstanden werden, deren Einfallswinkel kleiner als der kritische Winkel für die Totalreflexion ist und die daher nicht totalreflektiert werden. Um zu einer signifikanten Steigerung der Lichtausbeute zu kommen, setzt dieses Konzept eine Mindestdicke für die obere und untere Fensterschicht voraus. Bei dem bekannten pyramidenstumpfförmigen Halbleiterelement beträgt die Dicke der oberen und unteren Fensterschicht wenigstens $50,8 \mu\text{m}$ (2 Millizoll). Eine derartige Schichtdicke ist noch im Bereich des Machbaren. Falls jedoch die Leistung des bekannten Halbleiterchips erhöht werden soll, ist es erforderlich, sämtliche Abmessungen zu skalieren. Dabei ergeben sich rasch Schichtdicken, die nur unter hohem Aufwand auf epitaktischem Wege herstellbar sind. Der bekannte Halbleiterchip ist daher nicht ohne weiteres skalierbar.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen in Dünnschichttechnik herstellbaren Halbleiterchip mit verbesserter Lichtauskopplung zu schaffen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß danach gelöst, daß in die aktive Schicht von der Befestigungsseite her eine Ausnehmung eingebracht ist, deren Querschnittsfläche mit zunehmender Tiefe abnimmt.

5

Durch Ausnehmungen kann die Befestigungsseite des Halbleiterchips wesentlich verkleinert werden, so daß das Bonden der aktiven Schicht auf dem Trägerkörper problemlos durchgeführt werden kann. Durch die Ausnehmungen werden außerdem Seitenflächen geschaffen, an denen ein Teil der von der aktiven Zone emittierten Photonen so reflektiert wird, daß die Photonen innerhalb des Austrittskegels auf die der Befestigungsfläche gegenüberliegende Austrittsfläche der aktiven Schicht auftreffen. Bei dem Halbleiterchip gemäß der Erfindung wird gewissermaßen die Reflexion an der durchgehenden Reflexionsschicht durch die Reflexion an den Seitenflächen der Ausnehmungen ersetzt.

10

15

20

Bei einer Ausführungsform der Erfindung sind die Ausnehmungen so tief, daß die aktive Zone der aktiven Schicht durch die in die aktive Schicht von der Befestigungsseite her eingebrachte Ausnehmung unterbrochen ist.

25

Es hat sich gezeigt, daß Halbleiterchips, deren aktive Zone durch eine in die aktive Schicht von der Befestigungsseite her eingebrachte Ausnehmung unterbrochen ist, eine besonders hohe Lichtausbeute aufweisen. Denn in diesem Fall werden nicht nur die zur Befestigungsseite hin emittierten Photonen, sondern auch die zur Austrittsfläche der aktiven Schicht hin emittierten Photonen durch Reflexion an den Seitenflächen der Ausnehmung in einen großen Winkel zur Austrittsfläche gebracht.

30

35

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind durch die Ausnehmungen Erhebungen auf einer Verbindungsschicht der aktiven Schicht gebildet.

Derartige Erhebungen wirken als Kollimatoren, die die Trajektorien der von der aktiven Zone emittierten Photonen nahezu im rechten Winkel zu der Austrittsfläche des Halbleiterchips ausrichten. Dadurch trifft ein Großteil der emittierten Photonen innerhalb des Austrittskegels auf die Austrittsfläche auf und kann den Halbleiterchip verlassen.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Verbindungsschicht so ausgebildet, daß wenigstens eine Trajektorie der von der aktiven Zone emittierten Photonen von der jeweiligen Erhebung zu einer der benachbarten Erhebungen führt.

Durch die optische Kopplung der Erhebungen können Photonen, die nicht an einer der Seitenflächen der ursprünglichen Erhebung reflektiert worden sind, in eine der benachbarten Erhebungen gelangen und dort an den Seitenflächen der jeweiligen Erhebung so reflektiert werden, daß sie innerhalb des Austrittskegels auf die Austrittsfläche treffen.

Ferner sind bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung die Erhebungen mit konkaven Seitenflächen ausgestattet.

Durch diese Maßnahmen werden Photonen, die an der Austrittsfläche zunächst reflektiert werden mit jeder weiteren Reflexion an der Seitenfläche der Erhebungen zunehmend aufgestellt, so daß sie schließlich innerhalb des Austrittskegels auf die Austrittsfläche treffen.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Erhebungen mit einer Reflexionsschicht bedeckt.

Durch diese Maßnahme werden sämtliche auf die Seitenfläche der Erhebungen treffenden Lichtstrahlen in Richtung auf die Austrittsseite des Halbleiterchips gelenkt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Nachfolgend wird die Erfindung im einzelnen anhand der beige-fügten Zeichnung erläutert. Es zeigen:

- 5 Figur 1 einen Querschnitt durch einen Halbleiterchip gemäß der Erfindung;
- 10 Figur 2 einen Querschnitt durch ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Halbleiterchips gemäß der Erfindung, bei dem die aktive Zone jeweils innerhalb von pyramidenstumpfförmigen Erhebungen angeordnet ist;
- 15 Figur 3 einen Querschnitt durch einen Halbleiterchip gemäß der Erfindung, der mit Erhebungen ausgestattet ist, die konkave Seitenflächen aufweisen;
- 20 Figur 4 ein Diagramm, das die Steigerung der Lichtausbeute bei dem Halbleiterchips gemäß der Erfindung im Vergleich zu herkömmlichen Halbleiterchips zeigt;
- 25 Figur 5 ein Querschnittsprofil einer Erhebung, die sich aus einem unteren flachen Kegelstumpf und einem oberen steilen Kegelstumpf zusammensetzt;
- 30 Figur 6a bis 6d verschiedene Querschnittsprofile von Erhebungen und ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz vom Radius der Grenzfläche zwischen dem unteren Pyramidenstumpf und dem oberen Pyramidenstumpf der Erhebung aus Figur 5 zeigt;
- 35 Figur 7 ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz von der Reflektivität einer

auf der Spitze der Erhebung aus Figur 5 angeordneten Kontaktschicht zeigt;

Figur 8

5

ein Diagramm, in dem die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz von der Reflektivität der Seitenflächen der Erhebung aus Figur 5 dargestellt ist;

Figur 9

10

ein Diagramm, aus dem der Zusammenhang zwischen Auskoppelleffizienz und Größe eines Leuchtflecks in der aktiven Zone hervorgeht;

Figur 10a bis 10d verschiedene Querschnittsprofile einer Erhebung, bei der die Höhe der aktiven Zone variiert ist und ein Diagramm, in dem die Auskoppelleffizienz in Abhängigkeit von der Dicke einer unteren Begrenzungsschicht dargestellt ist;

15

20 Figur 11

ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz vom Flankenwinkel der Seitenflächen einer Erhebung mit dem im Figur 10b dargestellten Querschnittsprofil zeigt;

25 Figur 12

ein weiteres Diagramm, in dem die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz vom Flankenwinkel einer Erhebung mit dem Querschnittsprofil aus Figur 10b dargestellt ist;

30 Figur 13

ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz von der Breite der aktiven Schicht bei gleichbleibender Höhe veranschaulicht; und

35 Figur 14

ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Auskopplungseffizienz von der Dicke einer die

Erhebung verbindenden Verbindungsschicht für verschiedene Profile der Erhebungen zeigt.

Der in Figur 1 dargestellte Halbleiterchip für eine Lumineszenzdiode weist einen Trägerkörper 1 auf, auf dem die aktive Schicht 2 angebracht ist. Der Deutlichkeit halber ist in Figur 1 die Dicke der aktiven Schicht 2 im Verhältnis zu der Dicke des Trägerkörpers 1 übertrieben gezeichnet. Die aktive Schicht 2 weist eine Photonen emittierende, aktive Zone 3 auf, die jeweils auf einer mittleren Höhe in Erhebungen 4 ausgebildet ist. Die Erhebungen 4 können pyramidenstumpfförmig oder kegelförmig ausgebildet sein. Der Halbleiterchip stellt somit eine Lumineszenzdiode dar.

Die Erhebungen 4 sind auf einer Verbindungsschicht 5 angeordnet, die auf einer flachen Vorderseite 6 eine zentrale vorderseitige Kontaktstelle 7 aufweist, die von einer Metallisierungsschicht gebildet ist. Die rückseitigen, von Ausnehmungen 8 gebildeten Erhebungen 4 sind mit einer Reflexionsschicht bedeckt, die aus einer dielektrischen Isolierschicht 9 und einer darauf aufgetragenen Metallisierungsschicht 10 besteht. Die Isolierschicht 9 ist entlang einer Grundfläche 11 der Erhebungen 4 durch Durchkontaktierungen 12 unterbrochen, die von metallisierten Abschnitten gebildet werden.

Zur Herstellung des in Figur 1 dargestellten Halbleiterchips wird zunächst auf einem Grundsubstrat die aktive Schicht 2 epitaktisch aufgewachsen. Die aktive Schicht 2 kann beispielsweise auf der Basis von InGaAlP hergestellt werden. Dabei wird zunächst die Verbindungsschicht 5 auf dem Grundsubstrat ausgebildet und anschließend mit einer Konzentration oberhalb von 10^{18} cm^{-3} dotiert, um eine gute Leitfähigkeit der Verbindungsschicht 5 zu gewährleisten. Denn eine gute Leitfähigkeit der Verbindungsschicht 5 ist Voraussetzung dafür, daß auf der Vorderseite 6 eine zentrale Kontaktstelle 7 für die Versorgung der aktiven Zone 3 mit Strom genügt. Außerdem ist die Zusammensetzung der Verbindungsschicht 5 so gewählt, daß sie für

die in der aktiven Zone erzeugten Photonen transparent ist. Dies läßt sich üblicherweise über eine Einstellung der Bandlücke durch die Zusammensetzung des Materials der Verbindungsschicht 5 bewerkstelligen.

5

Anschließend wird eine weitere Schicht auf der Verbindungsschicht 5 aufgebracht, in die die Erhebungen 4 mit geeigneten naß- oder trockenchemischen Ätzverfahren eingebracht werden. Derartige Ätzverfahren sind bekannt und sind nicht Gegenstand der Anmeldung. Die Erhebungen 4 werden vorzugsweise in den für die Halbleiterchips vorgesehene Bereichen ausgebildet. Dies sind Bereich mit typischen Außenabmessungen von $400 \times 400 \mu\text{m}^2$. Die Erhebungen 4 weisen Außenabmessungen auf, die im Bereich der Schichtdicke der aktiven Schicht 2 liegen. Die Außenabmessungen der Erhebungen 4 liegen daher im Bereich von 10 μm .

10

15

In einem weiteren Verfahrensschritt erfolgt das Abscheiden der Isolierschicht 9 auf den Erhebungen 4 und das Ausbilden der Durchkontaktierungen 12. Danach wird die Metallisierungsschicht 10 aufgebracht.

20

Anschließend wird die aktive Schicht 3 entsprechend der vorgesehenen Zahl von Halbleiterchips aufgetrennt. Dies erfolgt beispielsweise durch Naßätzen.

● 5

Dann werden die vereinzelt aktiven Schichten am Trägerkörper 1 beispielsweise durch eutektisches Bonden befestigt und das Grundsubstrat durch Naßätzen entfernt. Abschließend werden die Kontaktstellen 7 auf der freigelegten Vorderseite der aktiven Schicht 2 ausgebildet und die Halbleiterchips durch Trennen des Trägerkörpers 1 vereinzelt.

30

Der in Figur 1 dargestellte Halbleiterchip weist den Vorteil auf, daß die von der aktiven Zone 3 erzeugten Photonen nicht auf Komponenten des Halbleiterchips treffen, die diese absor-

35

bieren. Denn durch die Metallisierungsschicht 10 werden die Photonen vom Trägerkörper 1 ferngehalten.

Ein weiterer Vorteil ist, daß bei dem Halbleiterchip aus Figur 1 ein Großteil der von der aktiven Zone 3 emittierten Photonen an Seitenflächen 13 der Erhebungen 4 totalreflektiert wird. Die an den Seitenflächen 13 totalreflektierten Photonen treffen auf die Vorderseite 6 unter einem großen Winkel. Insbesondere trifft ein Teil der Photonen, der ohne Reflexion an den Seitenflächen 13 an der Vorderseite totalreflektiert würde, auf die Vorderseite 6 innerhalb des Austrittskegels und kann daher den Halbleiterchip verlassen. Bei dem Halbleiterchip gemäß Figur 1 wird daher die Reflexion an der aus dem Stand der Technik bekannten durchgehenden Grundfläche zumindest teilweise durch die Totalreflexion an den Seitenflächen 13 ersetzt. Daher weist der Halbleiterchip aus Figur 1 im Vergleich zu herkömmlichen Halbleiterchips ohne Ausnehmungen 8 eine nahezu um den Faktor 2 gesteigerte Lichtausbeute auf.

Der beschriebene Effekt sei im folgenden anhand der in der Figur 2 und 3 dargestellten weiteren Ausführungsbeispiele im einzelnen erläutert.

Betrachtet seien eine Reihe von Lichtstrahlen, wobei der Begriff Lichtstrahlen nicht als eine Einschränkung auf eine bestimmte Wellenlänge, sondern als Bezugnahme auf die Methoden der geometrischen Optik, unabhängig von der Wellenlänge, verstanden werden soll.

Bei dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Erhebungen 4 pyramidenstumpfförmig ausgebildet und lediglich an der Grundfläche 11 der Erhebungen 4 über eine Kontaktschicht 14 am Trägerkörper 1 befestigt. Durch die Kontaktschicht 14 wird die aktive Zone 3 mit Strom versorgt.

35

Aufgrund der großen Differenz zwischen den Brechungsindizes von Halbleitern zu Gießharz von typischerweise 3,5 zu Werten

von typischerweise 1,5 können an der Grenzfläche zwischen Halbleiter und Gießharz nur Lichtstrahlen aus dem Halbleiter auskoppeln, die innerhalb eines Austrittskegels mit einem Öffnungswinkel von etwa 16° auf die Grenzfläche auftreffen. Bei
5 einem winkelmäßig gleich verteilten Einfall der Lichtstrahlen entspricht dies etwa 2% der auf eine Flächeneinheit einfallenden Lichtstrahlen.

Durch die Erhebungen 4 werden die von der aktiven Schicht 2
10 ausgehende Lichtstrahlen in Richtung auf die Vorderseite 6 gelenkt. Die Erhebungen 4 wirken daher als Kollimatoren, in deren Brennfläche sich die aktive Zone 3 befindet. Die Erhebungen 4 bewirken, daß die auf die Seitenflächen 13 auftreffenden Lichtstrahlen in Richtung auf die Vorderseite 6 aufgestellt
15 werden und dort innerhalb des Austrittskegels auftreffen, so daß sie den Halbleiterchip verlassen können. Die Lichtausbeute kann dabei durch eine geeignete Wahl der Abmessungen der Grundfläche 11, des Neigungswinkels der Seitenfläche 13 und der Höhe der Erhebungen 4 sowie die Lage der aktiven Zone 3
20 optimiert werden.

In Figur 2 ist ein Lichtstrahl 15 gezeigt, der zunächst an der Seitenfläche 13 totalreflektiert und von dort zur Vorderseite 6 gelenkt wird. Auf der Vorderseite 6 trifft der Lichtstrahl
5 15 innerhalb des Austrittskegels auf die Grenzfläche auf und kann daher den Halbleiterchip verlassen. Ohne die Totalreflexion an der Seitenfläche 13 wäre der Lichtstrahl 15 an der Vorderseite 6 totalreflektiert und zu einer der aus dem Stand der Technik bekannten Reflexionsschichten zurückgelenkt wor-
30 den, wo er erneut reflektiert worden wäre. Insofern wird bei dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel die Reflexion an der herkömmlichen durchgehenden Reflexionsschicht durch die Reflexion an den Seitenflächen 13 ersetzt.

35 Dies gilt auch für einen Lichtstrahl 16, der zunächst an der Grundfläche 11 und dann an der Seitenfläche 13 reflektiert wird. Auch der Lichtstrahl 16 wird nach der zweiten Reflexion

zu der Vorderseite 6 gelenkt, wo er innerhalb des Austrittskegels auftrifft. Ohne die Reflexion an der Seitenfläche 13 wäre der Lichtstrahl 16 ebenfalls an der Vorderseite 6 totalreflektiert und zu einer rückseitigen Reflexionsschicht zurückge-
5 lenkt worden.

Von Vorteil ist ferner, daß die Erhebungen 4 über die Verbindungsschicht 5 optisch gekoppelt sind. Unter der optischen Kopplung soll in diesem Zusammenhang verstanden werden, daß
10 wenigstens einer der von der aktiven Schicht 2 ausgehenden Lichtstrahlen über eine Mittellinie 17 hinweg von dem Bereich einer der Erhebungen 4 in den Bereich einer der benachbarten Erhebungen 4 gelangen kann. Denn durch die optische Kopplung mit Hilfe der Verbindungsschicht 5 kann ein Lichtstrahl 18,
15 der nicht auf eine der Seitenflächen 13 der jeweiligen Erhebungen 4 trifft, auf eine der Seitenflächen 13 einer der benachbarten Erhebungen 4 treffen und dort zur Vorderseite 6 gelenkt werden, wo er innerhalb des Austrittskegels auftrifft. Durch die optische Kopplung über die Verbindungsschicht 5 wird
20 daher die Lichtausbeute weiter gesteigert.

In Figur 3 ist schließlich ein Querschnitt durch ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel des Halbleiterchips dargestellt, bei dem die Erhebungen 4 kegelstumpfförmig mit konkaven Seitenflächen 13 ausgebildet sind. Die Ausgestaltung der Seitenflächen 13 führt dazu, daß ein zwischen der Vorderseite 6 und der Seitenfläche 13 hin und her reflektierter Lichtstrahl 18 bei Annäherung an die Mittellinie 17 zunehmend aufgestellt wird, bis er innerhalb des Austrittskegels auf die Vorderseite
30 6 auftrifft. Das gleiche gilt für Lichtstrahlen 9, die zunächst über die Verbindungsschicht 5 von jeweils einer Erhebung 4 zur benachbarten Erhebung 4 gelangen und dort in einem großen Winkel zur Vorderseite 6 gebracht werden.

35 In Figur 4 ist schließlich ein Diagramm dargestellt, in dem eine Meßkurve 20 die Abhängigkeit der Lichtausbeute in relativen Einheiten vom Betriebsstrom bei Pulsbetrieb für eine her-

kömmliche, in Dünnschichttechnik hergestellte Leuchtdiode darstellt. Eine weitere Meßkurve 21 veranschaulicht die Abhängigkeit der Lichtausbeute in relativen Einheiten in Abhängigkeit vom Betriebsstrom für eine Leuchtdiode gemäß dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel. Figur 4 ist zu entnehmen, daß die Lichtausbeute bei dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispielen etwa das Doppelte der Lichtausbeute von herkömmlichen Halbleiterchips ohne Ausnehmungen 8 aufweist.

Um die günstigste Form für die Erhebungen 4 zu ermitteln, wurde eine Reihe von Raytracing-Simulationen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Rechnungen werden nachfolgend anhand der Figuren 5 bis 14 im einzelnen vorgestellt.

Zunächst seien die in den Rechnungen variierten Parameter anhand Figur 5 erläutert. In Figur 5 ist ein Querschnittsprofil einer der Erhebungen 4 dargestellt. In dem gezeigten Fall ist die Erhebung 4 aus einem unteren Kegelstumpf 22 und einem oberen Kegelstumpf 23 zusammengesetzt. Der untere Kegelstumpf 22 grenzt mit einer Basisfläche 24 an die Verbindungsschicht 5 an. Im oberen Kegelstumpf 23 ist die aktive Zone 3 ausgebildet. Außerdem ist in Figur 5 eine auf der Grundfläche 11 der Erhebung 3 angeordnete Kontaktstelle 25 vorgesehen.

Die Seitenflächen 13 der Erhebung 4 setzen sich aus einer Flanke 26 des unteren Kegelstumpfs 22 und Flanken 27 des oberen Kegelstumpfs 23 zusammen. Die geometrischen Abmessungen des unteren Kegelstumpfes 22 entlang einer gemeinsamen Grenzfläche 28 sind so gewählt, daß die Flanke 26 unmittelbar in die Flanke 27 übergeht.

Im folgenden wird auf verschiedene Abmessungen der Erhebung 4 Bezug genommen. Der Radius der Basisfläche 24 des unteren Kegelstumpfes 22 wird mit r_n , der Radius der Grenzfläche 28 mit r_t und der Radius der Grundfläche 11 mit r_p bezeichnet. Ferner kann die Erhebung 4 in eine untere Begrenzungsschicht 29 zwischen der Basisfläche 24 und der aktiven Zone 3 und eine obere

Begrenzungsschicht 30 zwischen der aktiven Zone 3 und der Grundfläche 11 unterteilt werden. Die untere Begrenzungsschicht 29 weist dabei eine Höhe h_u und die obere Begrenzungsschicht 30 eine Höhe h_o auf. Die gesamte Höhe der Erhebung 4 wird schließlich mit H bezeichnet. Sie wurde durchgehend in allen Rechnungen gleich $6\text{ }\mu\text{m}$ gesetzt. Für die Dicke h_w der Verbindungsschicht 5 wurde in allen Rechnungen, in denen die Dicke h_w nicht variiert wurde, ein Wert von $2\text{ }\mu\text{m}$ gewählt.

10 In den Figuren 6a bis 6d ist das Ergebnis einer Rechnung dargestellt, in der der Radius r_p der Grundfläche 11 gleich $5\text{ }\mu\text{m}$ und der Radius r_n der Basisfläche 24 gleich $20\text{ }\mu\text{m}$ gesetzt wurde. Der Radius r_t der Grenzfläche 28 wurde zwischen 6 und $18\text{ }\mu\text{m}$ entsprechend den in Figur 6a bis Figur 6c dargestellten Querschnittsprofilen variiert.

In den Rechnungen wurde für die aktive Zone 3 ein Brechungsindex von $3,2$ angesetzt. Der Brechungsindex der unteren Begrenzungsschicht 29, der oberen Begrenzungsschicht 30 sowie der Verbindungsschicht 5 war gleich $3,3$. Soweit nicht variiert, wurde die Reflektivität der Kontaktstelle 25 mit $0,3$ angesetzt. Die Reflektivität der von der Kontaktstelle 25 nicht bedeckten Grundfläche 11 sowie der Flanken 26 und 27 wurde auf den Wert $0,8$ gesetzt. Unter Reflektivität wird dabei jeweils der auf die Energie bezogene Reflexionskoeffizient verstanden.

Ferner wurde die Selbstabsorption der aktiven Zone 3 durch einen Absorptionskoeffizient von $10.000/\text{cm}$ berücksichtigt. Alle Rechnungen wurden mit Photonenrecycling durchgeführt. Dafür wurde eine interne Quanteneffizienz von $0,8$ angenommen. Die Quanteneffizienz bei der Erzeugung von Photonen durch Ladungsträgerrekombination wurde nicht berücksichtigt. Die in den Diagrammen angegebene Auskoppel-effizienz η ist daher gleich dem Verhältnis der aus dem Halbleiterchip ausgekoppelten Photonen zur Zahl der tatsächlich erzeugten Photonen. Die Werte für die angegebene Auskoppel-effizienz η müsste daher noch mit

dem Faktor 0,8 multipliziert werden, um zum externen Wirkungsgrad zu kommen.

Weiter wurde angenommen, daß die Reflexion an der Kontaktstelle 25 und den Flanken 26 und 27 winkelunabhängig ist. In den Rechnungen wird daher der Fall, daß zunächst die dielektrische Isolierschicht 9 auf die Erhebungen 4 aufgebracht und durch die spiegelnde Metallisierungsschicht 10 ergänzt wird, in den Rechnungen in seiner Wirkung unterschätzt, da in den Rechnungen die in diesem Fall auftretende Totalreflexion nicht berücksichtigt wird.

Figur 6c zeigt ein Diagramm, in dem die Auskoppelleffizienz η gegen den Radius r_t in einer Kurve 31 aufgetragen ist. Zum Vergleich ist auch die Auskoppelleffizienz eines normalen Dünnschicht-Halbleiterchips eingezeichnet, bei dem die Streuung nur über das Photonenrecycling vermittelt wird. Dieser Dünnschicht-Halbleiterchip mit der Kantenlänge $300 \mu\text{m}$ weist die gleiche Epitaxiestruktur wie die Erhebung 4 im unteren Kegelstumpf 22 und oberen Kegelstumpf 23 auf. Es wurde angenommen, daß der Halbleiterchip p-seitig mit einem Spiegel versehen ist, dessen Reflektivität 0,72 beträgt. Dieser Wert ist der mit dem Belegungsgrad gewichtete Mittelwert der Reflektivität einer Reflexionsschicht und einer Kontaktschicht, wobei für die Reflektivität der Reflexionsschicht der Wert 0,8 und für den Belegungsgrad der Reflexionsschicht der Wert 0,85 angesetzt und für die Reflektivität der Kontaktschicht der Wert 0,3 und der Belegungsgrad 0,15 verwendet wurde.

Aus Figur 6 ist erkennbar, daß bei einem sehr großen Anstellwinkel ϕ_0 des oberen Kegelstumpfs 23 gemäß dem in Figur 6a dargestellten Querschnittsprofil die Auskoppelleffizienz η kaum besser als die Auskoppelleffizienz η einer herkömmlichen Dünnschicht-Lumineszenzdiode ist, deren Auskoppelleffizienz in Figur 6d durch die Gerade 32 dargestellt ist. Dies ist auch verständlich, da die Erhebung 4 mit dem in Figur 6a dargestellten flachen Flächenquerschnittsprofil kaum die von der aktiven Zo-

ne 3 ausgehenden Lichtstrahlen in einen steilen Winkel zur Leuchtfläche 6 bringt. Genau dies bewerkstelligt jedoch die Erhebung 4 mit dem in Figur 6c dargestellten Querschnittsprofil, weshalb auch in diesem Fall die Auskoppelleffizienz η nahezu das Doppelte der Auskoppelleffizienz η einer herkömmlichen Dünnschicht-Lumineszenzdiode beträgt.

Des weiteren wurde die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz η von der Reflektivität der Kontaktstelle 25 untersucht. Zu diesem Zweck wurde die Auskoppelleffizienz η in Abhängigkeit von der Reflektivität der Kontaktstelle 25 berechnet, wobei das Querschnittsprofil der Erhebung 4 gleich dem in Figur 6b dargestellten Querschnittsprofil war. Außerdem wurde angenommen, daß die Kontaktstelle 25 die gesamte Grundfläche 11 abdeckt. Aus Figur 7 ist erkennbar, daß die Auskoppelleffizienz η nicht wesentlich von der Reflektivität der Kontaktstelle 25 abhängt. Die hier beschriebenen Halbleiterchips mit Erhebungen 4 auf der Befestigungsseite erscheinen daher wesentlich unempfindlicher gegen die schlechte Reflektivität der Kontaktstellen 25 zu sein als die herkömmliche Dünnschicht-Lumineszenzdiode, da die zur Auskopplung führenden Vielfachreflexionen offenbar nur zu einem geringen Bruchteil zwischen der Grundfläche 11 und der Leuchtfläche 6, sondern dreidimensional in der Erhebung 4 erfolgen.

Die relative Unabhängigkeit von der Reflektivität der Kontaktstelle 25 ist besonders von Vorteil, da in der Praxis ein niedriger ohmscher Widerstand zwischen der Kontaktstelle 25 und der oberen Begrenzungsschicht 30 im allgemeinen mit einer schlechten Reflektivität verknüpft ist. Denn ein guter ohmscher Kontakt erfordert die Diffusion von Atomen aus der die Kontaktstelle 25 bildenden Schicht in das darunter liegende Material.

Im Gegensatz zur Abhängigkeit von der Reflektivität der Kontaktstelle 25 ist die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz η von der Reflektivität R_S der Spiegelflächen auf der Grundflä-

che 11 und den Flanken 26 und 27 stark ausgeprägt. Dies zeigen die Ergebnisse einer Rechnung, die mit einem Modell für den Halbleiterchip durchgeführt worden sind, dessen Erhebungen 4 die Radien $r_p = 5 \mu\text{m}$, $r_d = 16 \mu\text{m}$ und $r_n = 20 \mu\text{m}$ aufweisen.

5

Die Erhebungen 4 weisen daher in etwa das in Figur 6b dargestellte Querschnittsprofil auf.

Das Ergebnis dieser Rechnung ist eine in Figur 8 eingetragene Kurve 33, die monoton mit zunehmender Reflektivität R_s ansteigt. Ein in das Diagramm aus Figur 8 eingetragener Punkt 34 stellt das Ergebnis einer Rechnung für einen Halbleiterchip dar, auf den keine Spiegelschicht aufgebracht wurde, sondern der in Harz als umgebendes Medium eingebettet wurde. Hier findet allerdings Totalreflexion statt, so daß sich gegenüber einem Halbleiterchip mit einer Spiegelschicht eine größere Auskoppel-effizienz ergibt. Dies wäre auch bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel der Fall, bei dem zwischen der Metallisierungsschicht 10 die elektrische Isolierschicht angeordnet ist, an der gleichfalls Totalreflexion stattfinden kann.

Figur 9 enthält das Ergebnis einer Rechnung, die an einem Halbleiterchip mit Erhebungen 4 ausgeführt wurde, für deren Radien galt: $r_p = 5 \mu\text{m}$, $r_t = 16 \mu\text{m}$ und $r_n = 20 \mu\text{m}$. Die Erhebungen 4 weisen daher im wesentlichen das die Figur 6a dargestellte Querschnittsprofil auf. Die aktive Zone 3 befand sich dabei auf mittlerer Höhe zwischen der Basisfläche 24 und der Grundfläche 11. Bei dieser Rechnung wurde der Bereich, in dem in der aktiven Zone 3 Photonen entstehen auf einen Leuchtfleck eingengt, dessen Durchmesser d_g auf der Abszisse aufgetragen ist. Anhand des Diagramms in Figur 9 ist erkennbar, daß die Auskoppel-effizienz bei einem kleinen Leuchtfleck besonders hoch ist. Das bedeutet, daß Photonen im Zentrum der aktiven Zone 3 besonders gut ausgekoppelt werden. Insofern ist ein leichter Weierstrass-Effekt vorhanden.

Für den Flankenwinkel ϕ existiert auch ein optimaler Bereich. Dies wird anhand Figur 12 deutlich. In der zugrunde liegenden Rechnung wurde der Radius r_p gleich $10 \mu\text{m}$ gesetzt. Der Radius r_a der aktiven Zone 3 und der Radius r_n der Basisfläche 24 wurden so variiert, daß der Anstellwinkel ϕ der Flanken 27 und 26 einen Wertebereich zwischen $1,5^\circ$ und 85° abdeckt. Wie aus Figur 12 erkennbar ist, gibt es einen optimalen Winkelbereich für den Anstellwinkel ϕ . Der Flankenwinkel ϕ sollte zwischen 5° und 60° , vorzugsweise zwischen 10° und 40° liegen. Besonders gute Werte für die Auskoppelleffizienz η ergeben sich wenn der Anstellwinkel ϕ zwischen 15° und 30° liegt.

Anschließend wurde untersucht, welche Auswirkung eine Variation der Breite der Erhebungen 4 auf die Auskoppelleffizienz η hat. In diesem Fall wurde daher die Höhe H der Erhebungen 4 konstant gehalten und die Radien r_p , r_a und r_n gleichmäßig gestreckt. Eine Kurve 37 in Figur 13 veranschaulicht den Fall, daß die Reflektivität R_K der Kontaktstelle 25 gleich 0,3 ist. Eine weitere Kurve 38 betrifft den Fall, daß die Reflektivität R_K der Kontaktstelle 25 0,8 beträgt. Sowohl die Kurve 37 als auch die Kurve 38 zeigen die Abhängigkeit der Auskoppelleffizienz η vom Durchmesser $2r_a$ der aktiven Zone 3. Bei guter Reflektivität der Kontaktstelle 25 sinkt die Auskoppelleffizienz η nur wenig mit zunehmendem Durchmesser der aktiven Zone 3. Die Kurve 37, die den realistischen Fall einer schlechten Reflektivität R_K der Kontaktstelle 25 veranschaulicht, zeigt jedoch, daß die Auskoppelleffizienz η mit zunehmendem Durchmesser der aktiven Zone 3 stark abnimmt. Die Auskoppelleffizienz η ist daher um so besser, je kleiner die seitliche Ausdehnung der Erhebungen 4 ist.

Auch die Dicke der Verbindungsschicht 5 ist für die Auskoppelleffizienz η von Bedeutung. In Figur 14 ist die Auskoppelleffizienz η für verschiedene Fälle in Abhängigkeit von der Dicke h_w der Verbindungsschicht 5 aufgetragen. Eine Kurve 39 gibt den bereits erwähnten periodischen Fall wieder. Eine weitere Kurve 40 betrifft den aperiodischen Fall und eine dritte Kurve

41 einen Fall, in dem quadratische Halbleiterchips mit einer Kantenlänge von $300\text{ }\mu\text{m}$ durch eine Verbindungsschicht untereinander verbunden sind. Man erkennt aus Figur 14, daß die Verbindungsschicht 5 mit wachsender Schichtdicke zunehmend von
5 Vorteil ist. Allerdings geht aus Figur 14 auch hervor, daß eine Vielzahl von einzelnen Halbleiterchips, die jeweils eine Erhebung 4 aufweisen den besten Fall darstellen, da die Auskoppelleffizienz bei der Dicke $h_w = 0$ am höchsten ist. Einzelchips haben jedoch den Nachteil, daß ihre Leistung nicht beliebig vergrößert werden kann, da mit der Leistung auch die
10 Abmessungen der Halbleiterchips skaliert werden müssen. Aus praktischen Gründen ist jedoch die Dicke von Epitaxieschichten begrenzt. Dies hat zur Folge, daß einzelne Halbleiterchips sich nicht für beliebig hohe Leistungen auslegen lassen. Die
15 in den Figur 1 bis 4 vorgestellten Halbleiterchips lassen sich jedoch dahezu beliebig skalieren, da nur die Zahl der Erhebungen 4 entsprechend der zunehmenden Fläche der Verbindungsschicht 5 erhöht werden muß, um die Lichtleistung der Halbleiterchips zu steigern.

20

Eine weitere Untersuchung bezog sich auf die Frage, ob die aktive Zone 3 nicht auch in der Verbindungsschicht 5 angeordnet sein kann. Dazu wurde die Auskoppelleffizienz für eine herkömmliche Dünnschicht-Lumineszenzdiode berechnet und diese gleich 1
gesetzt. Ein Halbleiterchip mit der aktiver Zone 3 in der Verbindungsschicht 5 hat im Vergleich zur herkömmlichen Dünnschicht-Lumineszenzdiode eine Auskoppelleffizienz von 1,25. Für die in
Figuren 1 bis 4 dargestellten Halbleiterchips ergab sich schließlich eine relative Auskoppelleffizienz von 1,67. Dies
30 zeigt, daß auch dann eine Steigerung der Auskoppelleffizienz η erreichbar ist, wenn die aktive Zone 3 in der Verbindungsschicht 5 angeordnet ist.

Patentansprüche

1. Halbleiterchip für die Optoelektronik mit einer aktiven Schicht (2), die eine Photonen emittierende Zone (3) auf-
5 weist und die auf einer Befestigungsseite (11) an einem Trägerkörper angebracht ist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
in die aktive Schicht (2) von der Befestigungsseite (11) her eine Ausnehmung (8) eingebracht ist, deren Quer-
10 schnittsfläche mit zunehmender Tiefe abnimmt.
2. Halbleiterchip nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
15 die aktive Zone (3) durch die Ausnehmung (8) unterbrochen ist.
3. Halbleiterchip nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
20 durch eine Vielzahl von Ausnehmungen (8) Erhebungen (4) auf einer Verbindungsschicht (5) der aktiven Schicht (2) gebildet sind.
4. Halbleiterchip nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
(5) wenigstens eine Trajektorie (18) der von der aktiven Zone (3) emittierten Photonen von der jeweiligen Erhebung (4) zu einer der benachbarten Erhebungen (4) führt.
5. Halbleiterchip nach Anspruch 3 oder 4,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
sich die Erhebungen (4) zum Trägerkörper hin verzüngen.
6. Halbleiterchip nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
35 die Erhebungen (4) konkave Seitenflächen (13) aufweisen.

7. Halbleiterchip nach einem der Ansprüche 3 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Erhebungen (4) pyramidenstumpfförmig ausgebildet sind.
- 5 8. Halbleiterchip nach einem der Ansprüche 3 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
die aktive Zone (3) in einer der Verbindungsschicht (5)
benachbarten Hälfte der Erhebungen (4) angeordnet ist.
- 10 9. Halbleiterchip nach einem der Ansprüche 3 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Verbindungsschicht (5) für die von der aktiven Zone
(3) emittierten Photonen transparent ist.
- 15 10. Halbleiterchip nach einem der Ansprüche 3 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Verbindungsschicht (5) hoch dotiert ist.
- 20 11. Halbleiterchip nach einem der Ansprüche 3 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Erhebungen (4) mit einer Reflexionsschicht (9, 10) be-
deckt sind.
- 35 12. Halbleiterchip nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Reflexionsschicht eine mit einer Isolierschicht (9)
unterlegte Metallisierungsschicht (10) aufweist.
- 30 13. Halbleiterchip nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
die aktive Schicht (2) eine Dicke von weniger als 50 μm
aufweist.
- 35 14. Halbleiterchip nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, daß
die aktive Schicht (2) eine Dicke von weniger als 30 μm
aufweist.

Zusammenfassung

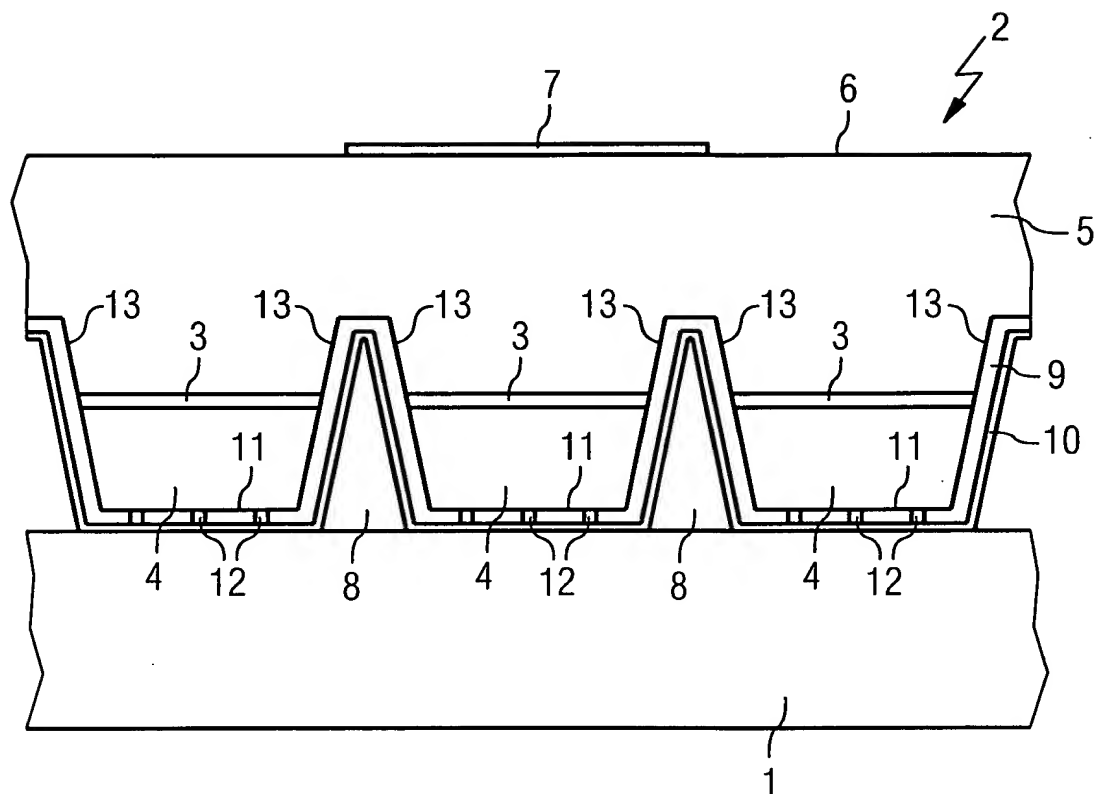
Halbleiterchip für die Optoelektronik

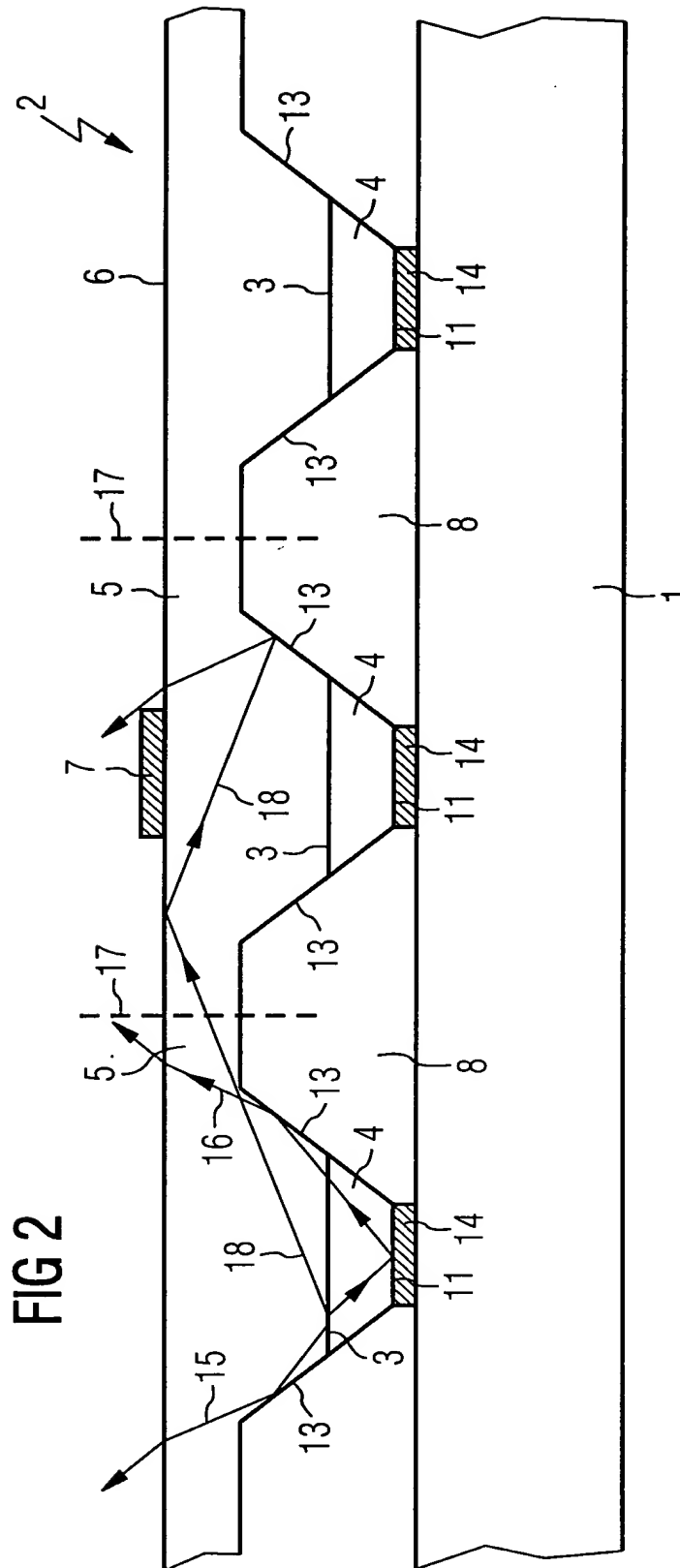
- 5 Bei einem Halbleiterchip für die Optoelektronik ist die aktive Zone (3) der in Dünnschichttechnik hergestellten aktiven Schicht (2) durch sich verjüngende Ausnehmungen (8) unterbrochen. Dadurch ergibt sich eine verbesserte Lichtausbeute.
- 10 Figur 1

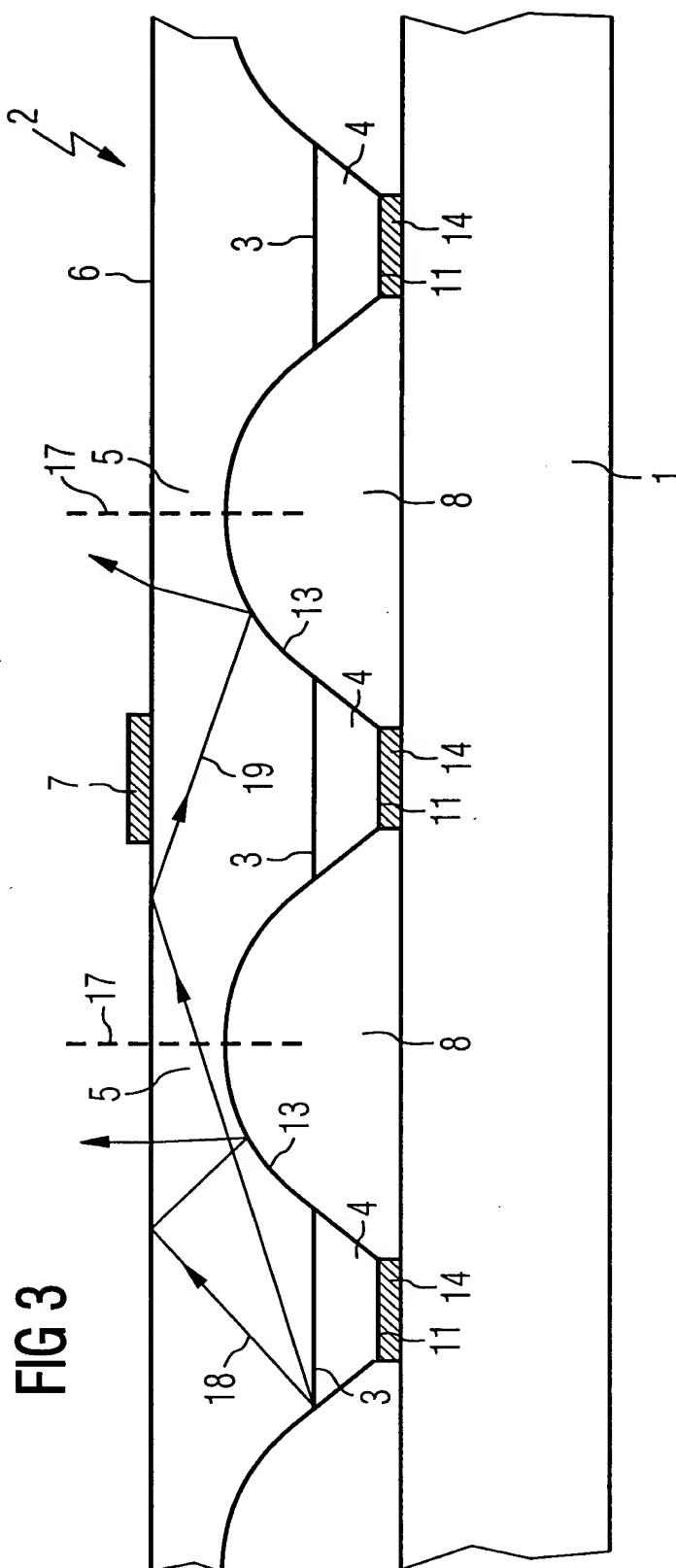
Bezugszeichenliste

	1	Trägerkörper
5	2	aktive Schicht
	3	aktive Zone
	4	Erhebungen
	5	Verbindungsschicht
	6	Leuchtfläche
10	7	Kontaktstelle
	8	Ausnehmungen
	9	Isolierschicht
	10	Metallisierungsschicht
	11	Grundfläche
15	12	Durchkontaktierung
	13	Seitenflächen
	14	Kontaktschicht
	15	Lichtstrahl
	16	Lichtstrahl
20	17	Mittellinie
	18	Lichtstrahl
	19	Lichtstrahl
	20	Meßkurve
	21	Meßkurve
25	22	Unterer Kegelstumpf
	23	Oberer Kegelstumpf
	24	Basisfläche
	25	Kontaktstelle
	26	Flanke
30	27	Flanke
	28	Grenzfläche
	29	Untere Begrenzungsschicht
	30	Obere Begrenzungsschicht
	31 bis 41	Kurve

FIG 1

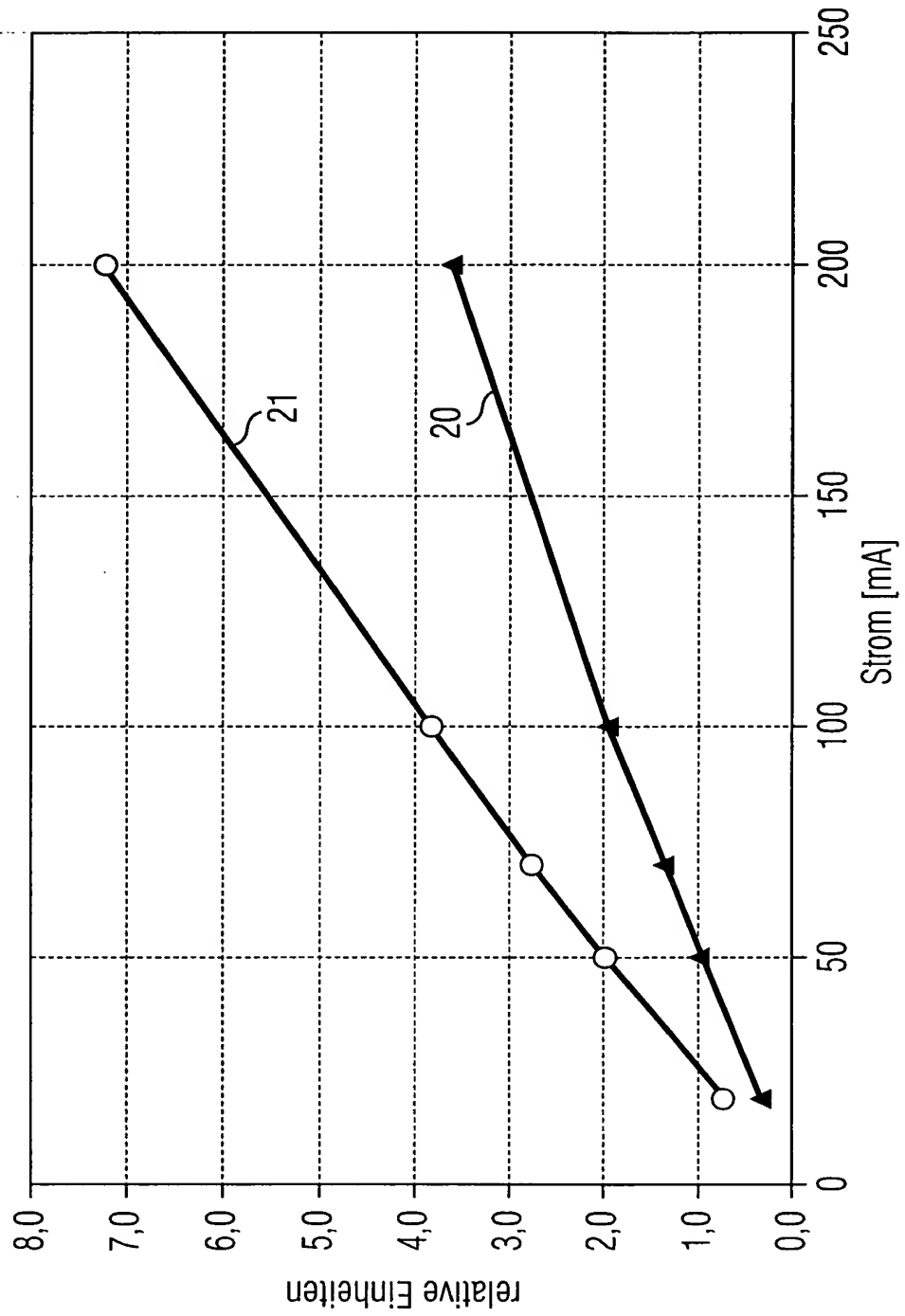






4/11

FIG 4



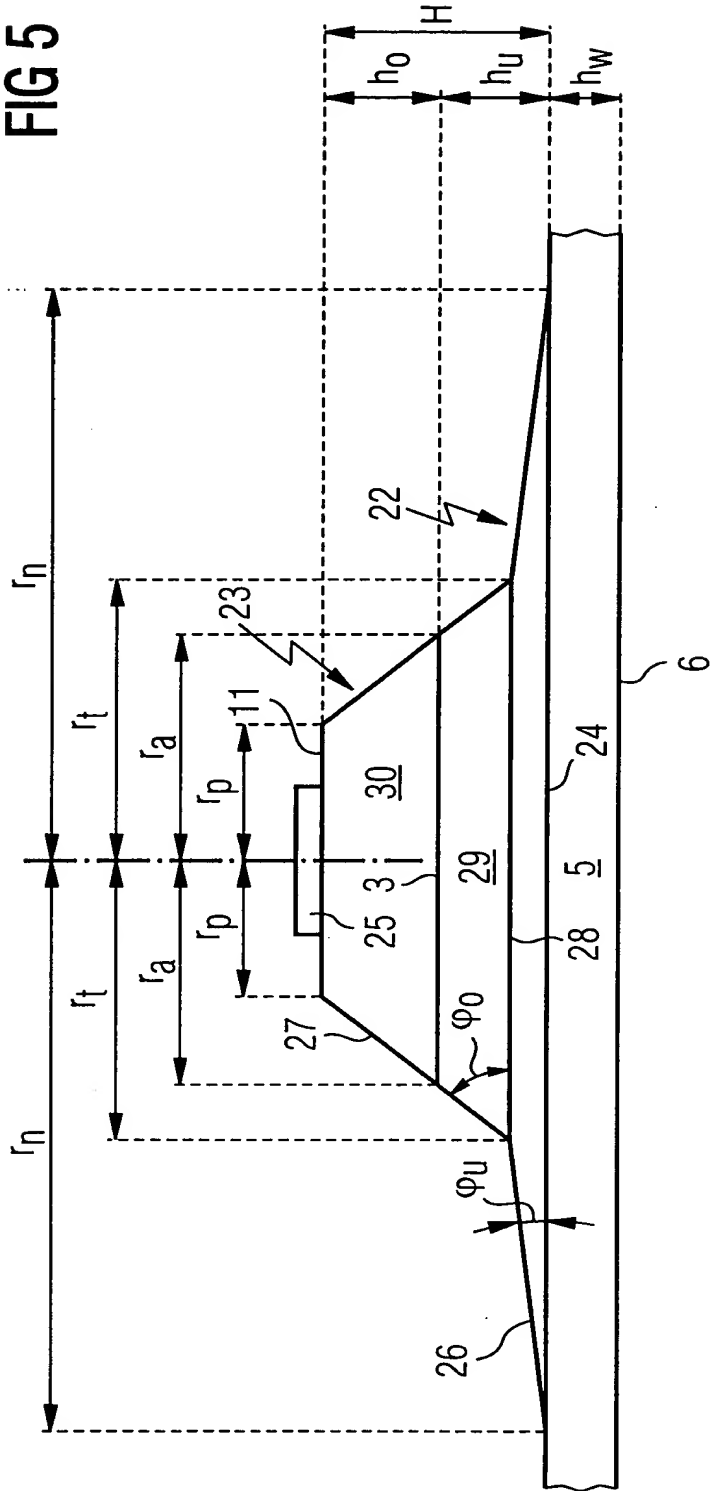


FIG 6a

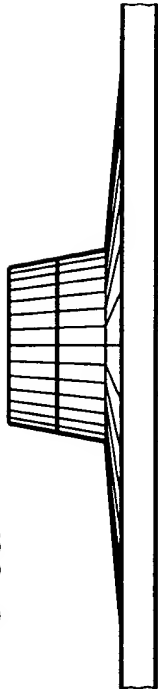


FIG 6b

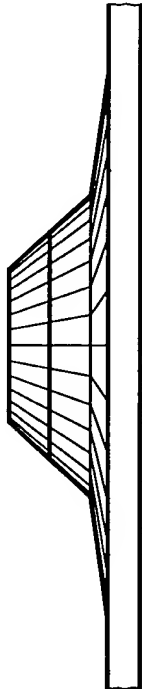


FIG 6c

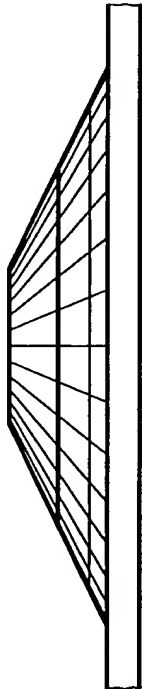
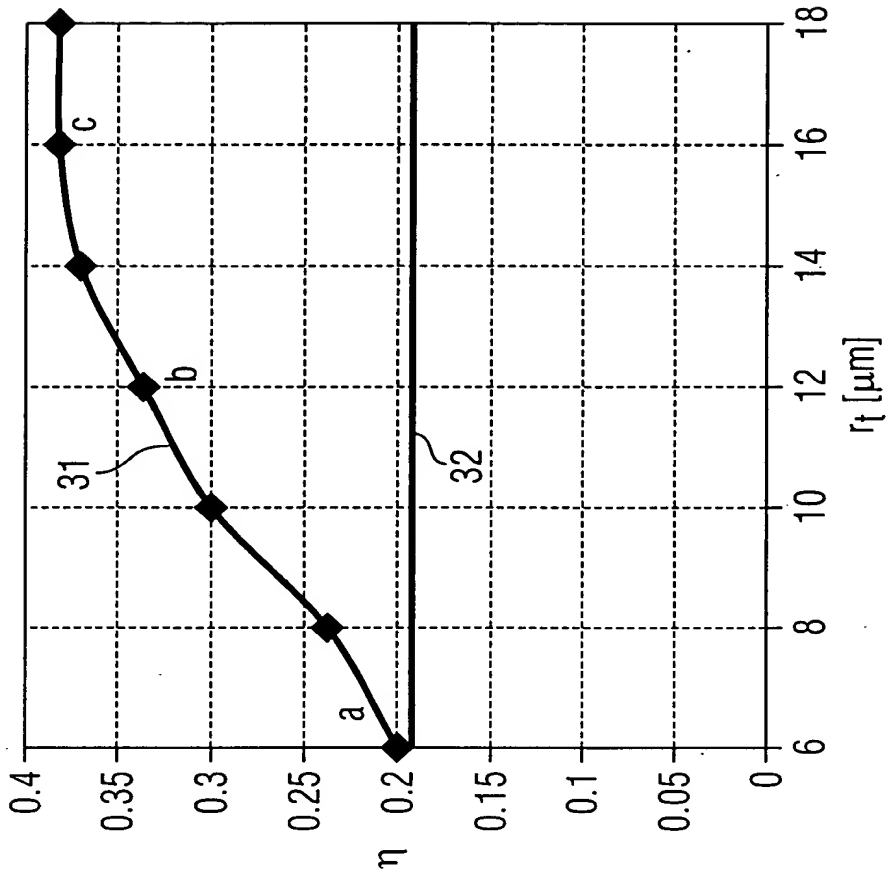


FIG 6d



7/11

FIG 7

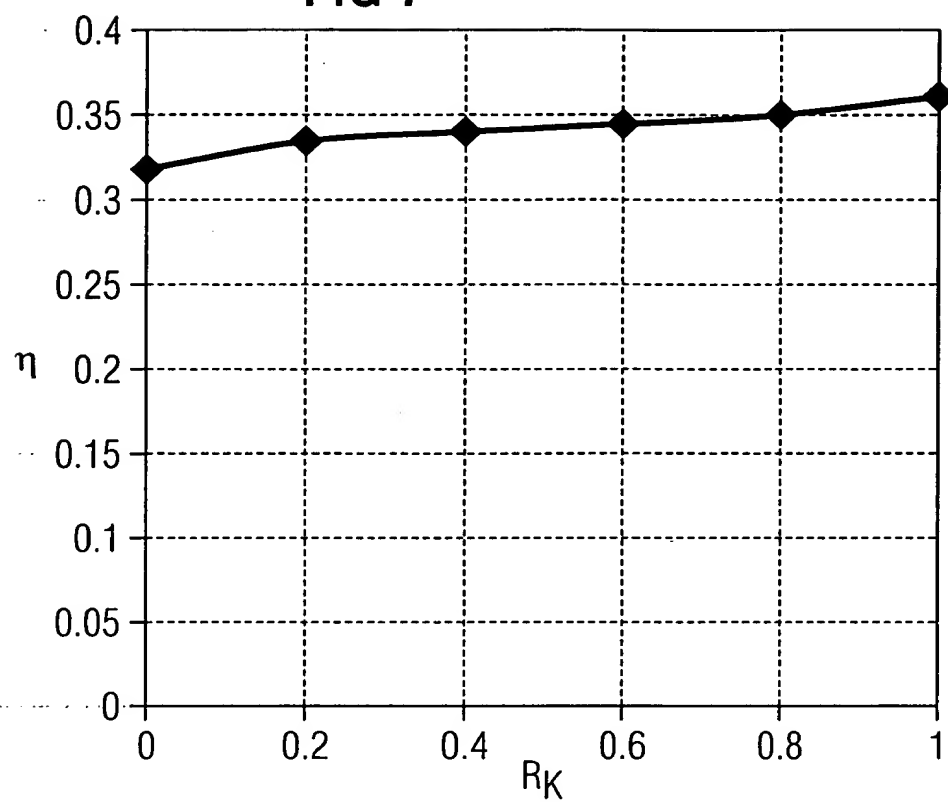


FIG 8

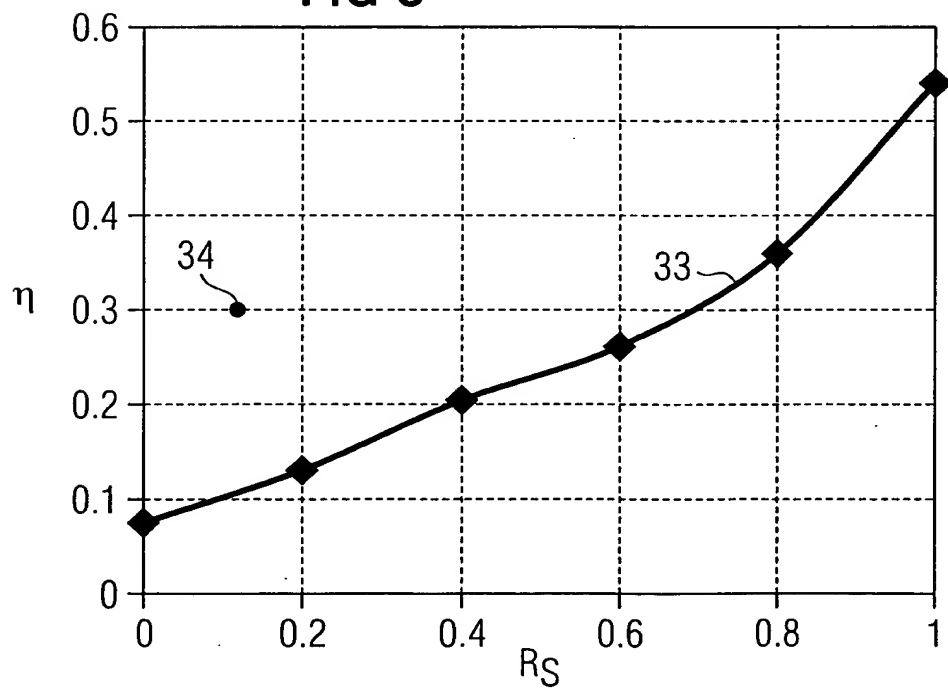


FIG 9

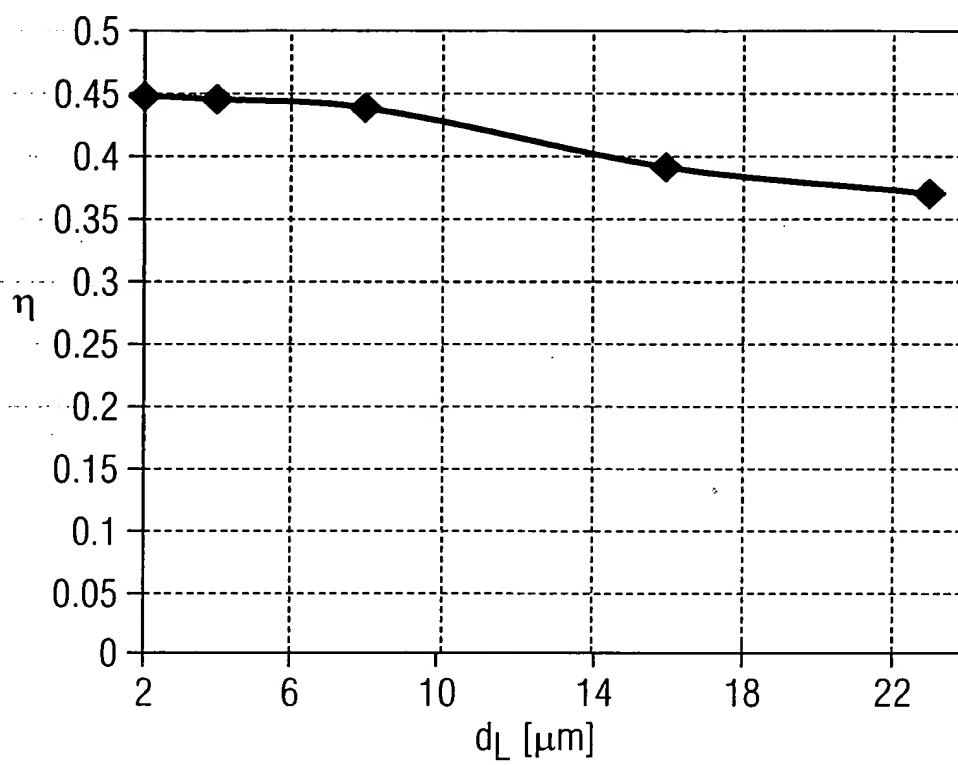


FIG 10a

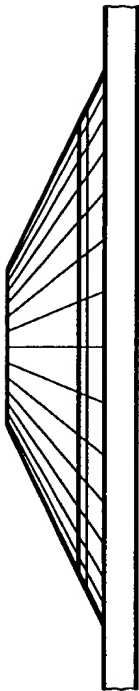


FIG 10b

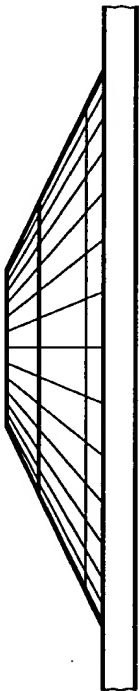


FIG 10c

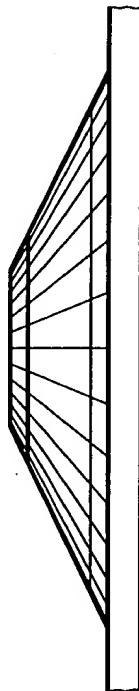
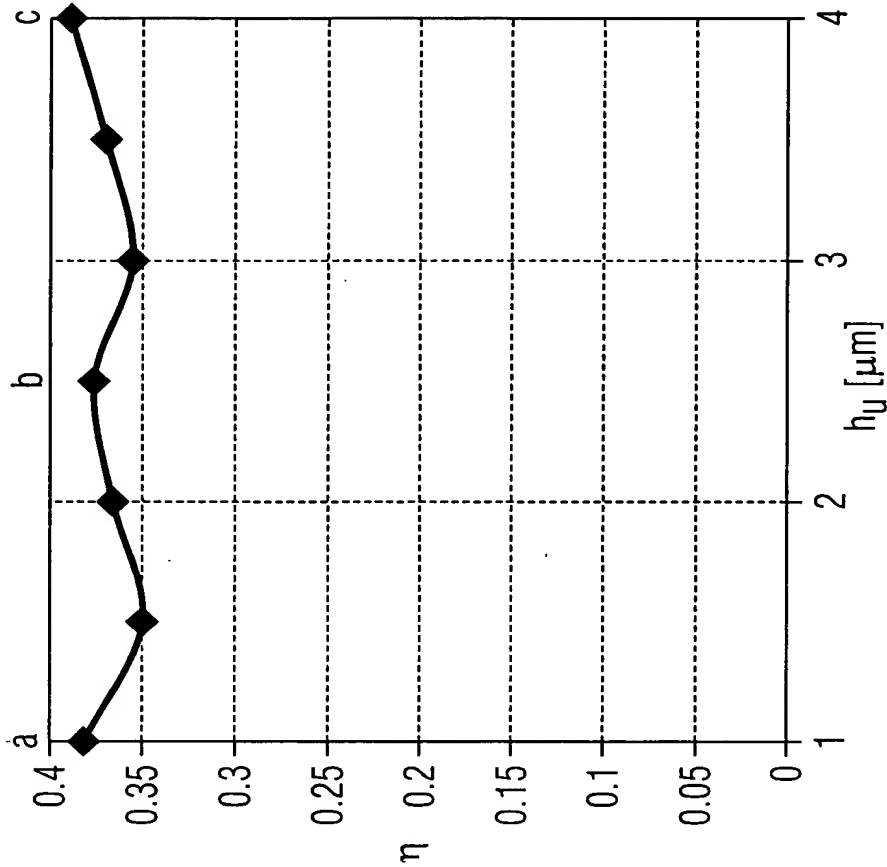


FIG 10d



10/11

FIG 11

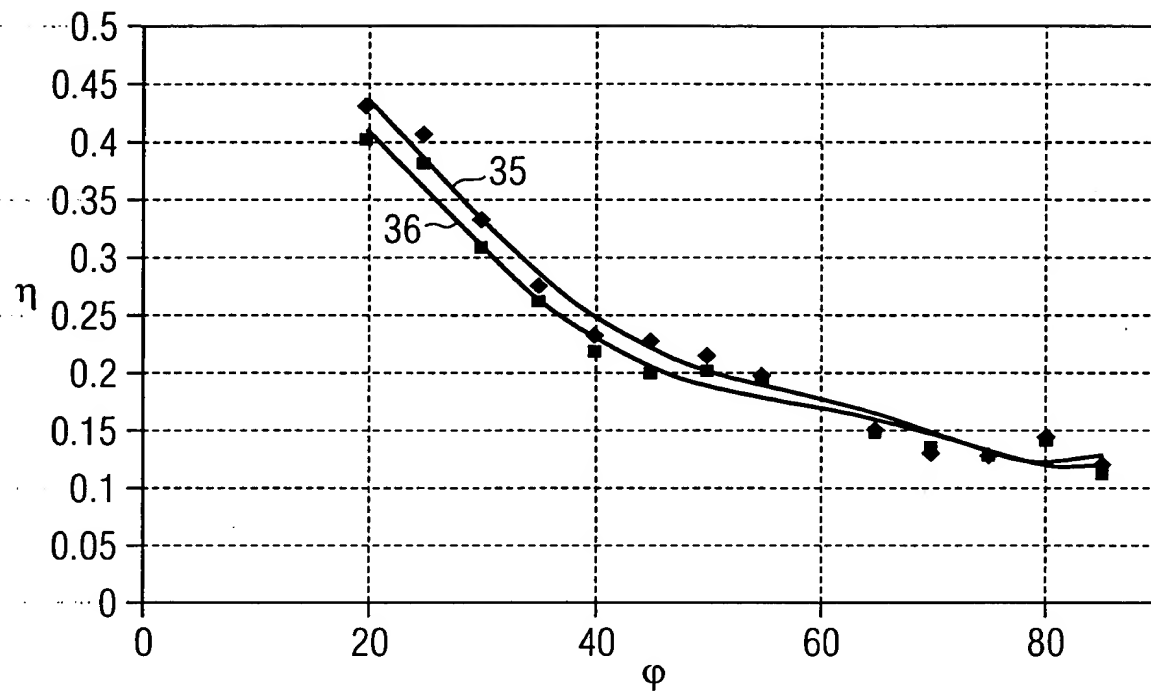
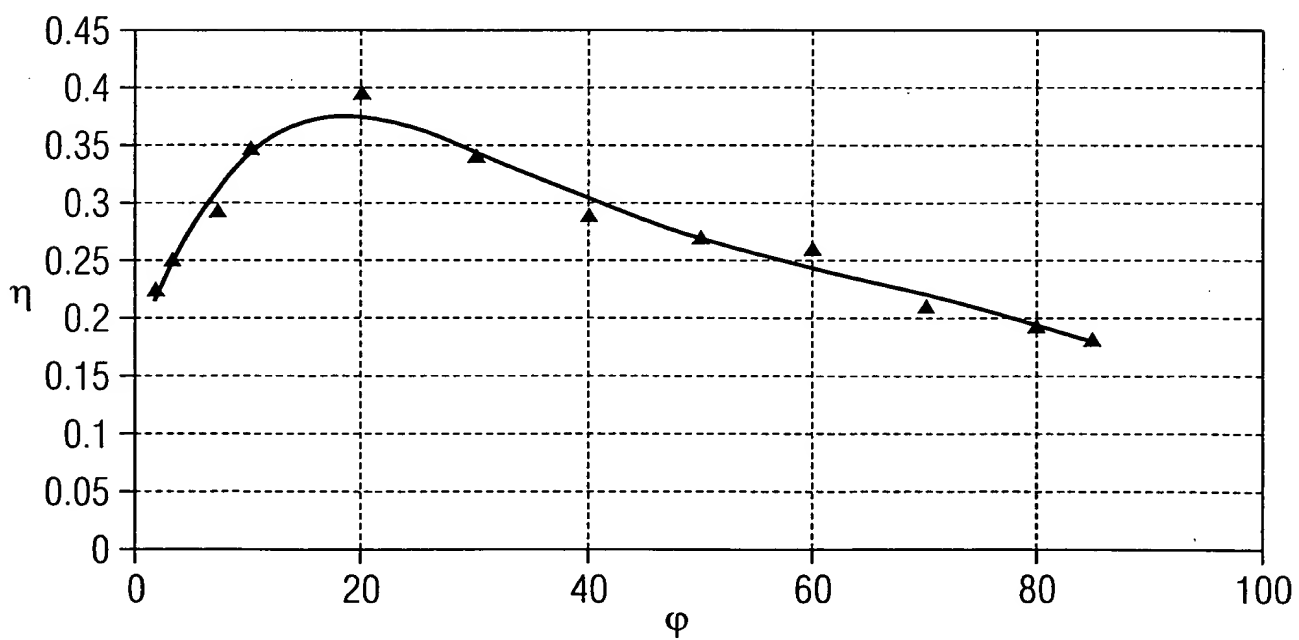


FIG 12



11/11

FIG 13

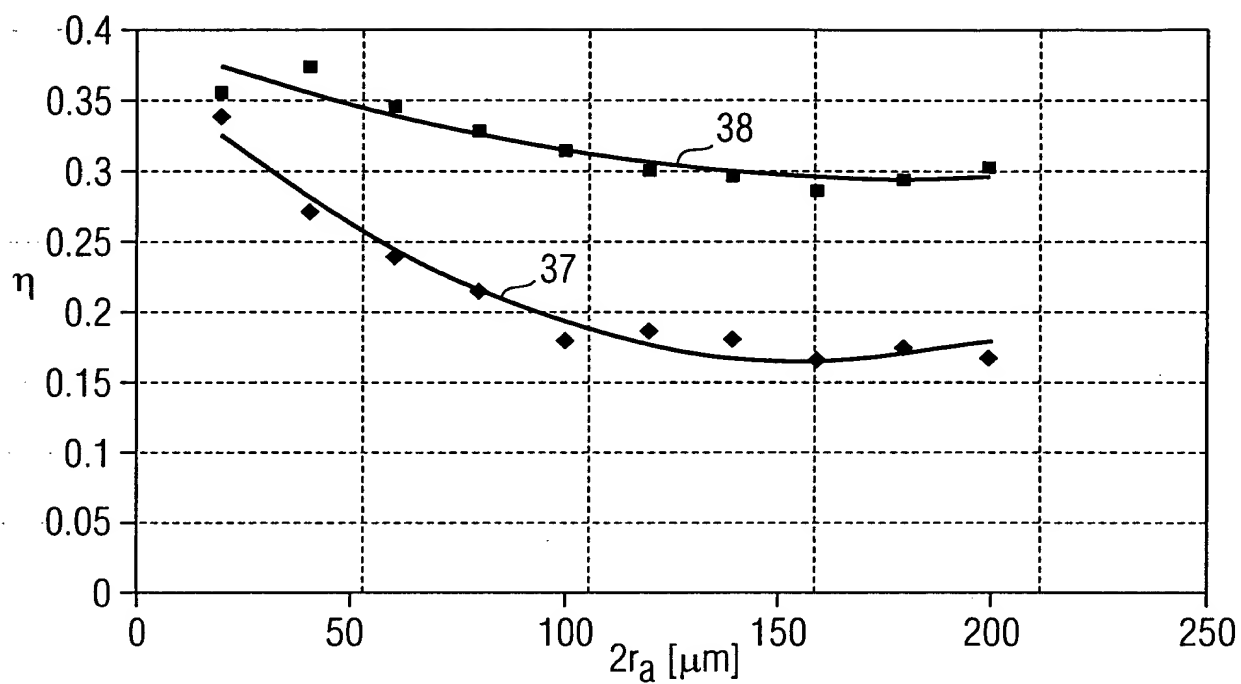
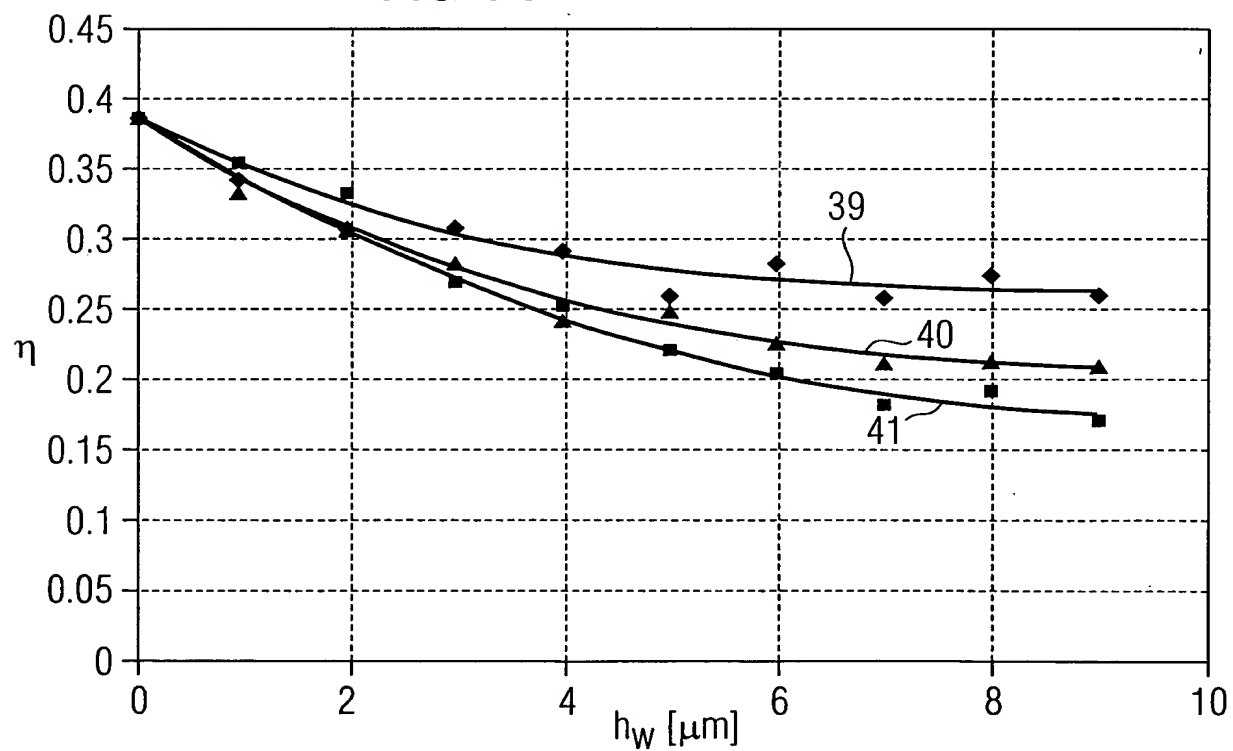


FIG 14



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.



Creation date: 08-15-2005
Indexing Officer: SBELETE - SEBLE BELETE
Team: OIPEBackFileIndexing
Dossier: 09750004

Legal Date: 04-15-2002

No.	Doccode	Number of pages
1	A...	2
2	CLM	7
3	REM	4

Total number of pages: 13

Remarks:

Order of re-scan issued on